

Inhalt

1 Einführung	1
1.1 Warum Versuche?	1
1.2 Warum Statistik?	1
1.3 Warum Versuchsplanung?	4
1.4 Welche Art von Ergebnissen kann man erwarten?	6
1.5 Versuche oder systematische Beobachtung?	8
1.6 Versuchsplanung und Six-Sigma-Strategie	8
2 Ausgewählte Begriffe	10
2.1 Zielgrößen	10
2.2 Einflussgrößen	11
2.3 Steuergrößen	11
2.4 Störgrößen	12
2.5 Faktoren	12
2.6 Faktorstufen	13
3 Vorgehensweise im Überblick.....	14
3.1 Ausgangssituation beschreiben.....	14
3.2 Untersuchungsziel festlegen.....	16
3.2.1 Optimale Lage des Mittelwerts	16
3.2.2 Reduzierung der Streuung/Robustheit	17
3.2.3 Erkennen der wichtigsten Störgrößen in der Fertigung	18
3.2.4 Gleichzeitig fertigen und lernen	18
3.2.5 Funktion und Zuverlässigkeit nachweisen.....	19
3.3 Zielgrößen und Faktoren festlegen	19
3.3.1 Auswahl der Zielgrößen	19
3.3.2 Sammlung der Einflussgrößen	20
3.3.3 Auswahl der Faktoren	22
3.3.4 Festlegung der Faktorstufen.....	23
3.3.5 Einflussgrößen, die nicht untersucht werden	25
3.4 Versuchsplan aufstellen.....	26
3.4.1 Festlegung der Faktorstufenkombinationen	26
3.4.2 Anzahl der Realisierungen	26
3.4.3 Blockbildung	27
3.4.4 Randomisierung	28
3.4.5 Aufwandsabschätzung	29
3.5 Versuche durchführen.....	31
3.5.1 Vorbereitung	31
3.5.2 Durchführung.....	32
3.6 Versuchsergebnisse auswerten.....	33
3.7 Ergebnisse interpretieren und Maßnahmen ableiten.....	36
3.7.1 Interpretation	36
3.7.2 Maßnahmen	37

3.8	Absicherung, Dokumentation, weiteres Vorgehen	38
3.8.1	Absicherung der Verbesserungen.....	38
3.8.2	Dokumentation	38
3.8.3	Weiteres Vorgehen.....	39
4	Systematische Beobachtung	40
4.1	Multi-Vari-Bild.....	40
4.2	Darstellung der örtlichen Verteilung von Fehlern	44
4.3	Prozessvergleich.....	47
4.4	Paarweiser Vergleich von Produkten.....	49
5	Einfache Versuche	51
5.1	Variablenvergleich zur Prozessverbesserung	51
5.2	Komponententausch zur Produktverbesserung.....	55
5.3	Überblick über die Methoden nach D. Shainin	58
6	Statistische Grundlagen	59
6.1	Verteilung.....	59
6.1.1	Häufigkeitsverteilung von Versuchsergebnissen	59
6.1.2	Verteilungsdichte und Verteilungsfunktion	62
6.1.3	Normalverteilung	64
6.2	Auswertung einer Stichprobe.....	65
6.2.1	Repräsentative Stichprobe	65
6.2.2	Eintragung ins Wahrscheinlichkeitsnetz.....	67
6.2.3	Schätzwerte für Mittelwert μ und Varianz σ^2	70
6.2.4	Vertrauensbereiche	72
6.3	Vergleich von zwei Mittelwerten	76
6.3.1	Auswertung von Versuchsergebnissen	77
6.3.2	Festlegung des Stichproben- bzw. Versuchsumfangs.....	83
6.3.3	Voraussetzungen	85
6.4	Transformation von Messwerten	89
6.4.1	Logarithmische Normalverteilung.....	89
6.4.2	Poisson-Verteilung	90
6.4.3	Box-Cox-Transformation	92
7	Vollständige faktorielle Versuchspläne.....	94
7.1	Zwei Faktoren auf je zwei Stufen.....	94
7.1.1	Versuchsplan und Effekte	94
7.1.2	Auswerteformalismus und Beurteilung der Signifikanz.....	97
7.1.3	Interpretation von Wechselwirkungen	99
7.1.4	Randomisierung und Blockbildung.....	101
7.2	k Faktoren auf je zwei Stufen	106
7.2.1	Versuchsplan.....	106
7.2.2	Auswertung	107
7.2.3	Versuchsumfang	113

7.3	Auswertung von Versuchsplänen mit $n = 1$	114
7.3.1	Wahrscheinlichkeitsdarstellung der Effekte.....	114
7.3.2	Schätzung der Zufallsstreuung durch „Pooling“	118
7.3.3	Risiken	120
8	Screening-Versuchspläne	121
8.1	Hintergrund	121
8.2	Fraktionelle faktorielle Versuchspläne	122
8.2.1	Der fraktionelle faktorielle 2^{4-1} -Plan als Beispiel	122
8.2.2	Anwendung des 2^{4-1} -Plans zur Blockbildung.....	126
8.2.3	Fraktioneller faktorieller 2^{k-p} -Plan.....	129
8.2.4	Was bedeutet Vermengung?.....	132
8.2.5	Auflösung.....	136
8.2.6	Überblick über 2^{k-p} -Pläne	137
8.2.7	Praxisbeispiel Reflowlöten	139
8.3	Plackett-Burman-Versuchspläne *	148
8.3.1	Plackett-Burman-Versuchspläne der Auflösung III	149
8.3.2	Plackett-Burman-Versuchspläne der Auflösung IV	151
8.3.3	Übersättigte Pläne	152
8.4	Weitere Screening-Versuchspläne *	152
8.5	Funktionstest *	153
8.6	Einsatzempfehlungen	155
9	Robuste Produkte/Prozesse	157
9.1	Ziel und Strategie von G. Taguchi	157
9.1.1	Qualitätsziel: Streuung minimieren.....	158
9.1.2	Entwicklungsstrategie: Robuste Produkte/Prozesse	158
9.2	Taguchis Versuchspläne und ihre Auswertung	160
9.3	Alternative Ansätze	168
9.3.1	Aus der Differenz von Messwerten abgeleitete Zielgrößen	168
9.3.2	Wechselwirkung zwischen Steuer- und Rauschfaktoren	169
9.4	Anmerkungen zu den „Orthogonalen Feldern“ u.ä. *	170
9.4.1	Orthogonale Felder	170
9.4.2	Lineare Graphen und Dreieckstabellen	171
9.4.3	Dummy Levels, Pseudo Factor Designs, Idle Columns	172
10	Regressionsanalyse	174
10.1	Einfache lineare Regression	174
10.1.1	Methode der kleinsten Quadrate	175
10.1.2	Bestimmtheitsmaß und Korrelationskoeffizient	177
10.1.3	Grafische Beurteilung der Residuen	180
10.1.4	Vertrauensbereiche und Signifikanz.....	182
10.1.5	Zusammenhang lineare Regression – Mittelwertvergleich.....	187
10.1.6	Quasilineare Regression	188
10.2	Mehrfache Regression.....	188
10.2.1	Zweifache lineare Regression	189
10.2.2	Transformierte Einflussgrößen	192

10.2.3 Prinzip der schrittweisen Regression	195
10.2.4 Beurteilung des Regressionsmodells	196
11 Versuchspläne für nichtlineare Zusammenhänge	198
11.1 Zentral zusammengesetzte Versuchspläne.....	198
11.1.1 Orthogonaler Versuchsplan.....	199
11.1.2 Technisch bedingte Abweichungen vom Versuchsplan.....	201
11.1.3 Bekannte nichtlineare Abhängigkeiten.....	201
11.1.4 Varianten von zentral zusammengesetzten Plänen.....	202
11.1.5 Praxisbeispiel Laserschneiden.....	205
11.2 Alternative Pläne *	212
11.2.1 3^k - und 3^{k-p} -Pläne	212
11.2.2 Box-Behnken-Pläne	213
11.2.3 Kleine zusammengesetzte Pläne	214
11.2.4 Optimale Pläne	215
11.3 Grenzen des quadratischen Modells	217
11.4 Einsatzempfehlungen	219
12 Varianzanalyse.....	221
12.1 Einfache balancierte Varianzanalyse.....	221
12.2 Mehrfache Varianzanalyse	227
12.3 Feste und zufällige Effekte *	230
12.4 Nicht vollständige Randomisierung *	232
12.4.1 Alle Realisierungen einer Kombination gemeinsam.....	232
12.4.2 Split-Plot Versuche.....	233
13 Screening für mehrstufige Faktoren *	235
13.1 Versuchspläne	235
13.2 Auswertung	236
13.3 Einsatzempfehlungen	238
14 Versuchspläne für Mischungen *	239
14.1 Mischungspläne ohne Begrenzungen	240
14.2 Auswertung von Mischungsplänen	242
14.3 Mischungspläne mit Begrenzungen.....	242
14.4 Kombinierte Versuchspläne.....	243
15 Spezielle Zielgrößen *	245
15.1 Gut-Schlecht-Ergebnisse.....	245
15.1.1 Möglichkeiten zur Vermeidung.....	245
15.1.2 Auswertung	247
15.2 Anzahl Fehler.....	251
15.3 Mehrere Zielgrößen	252

16 Sequentielle Optimierungsverfahren *	259
16.1 <u>E</u> volutionary <u>O</u> perations (EVOP)	260
16.2 Methode des steilsten Anstiegs	262
16.3 Simplexverfahren	263
16.4 Neuere Entwicklungen	265
16.5 Alternative Modellansätze	267
17 Erweiterung von Versuchsplänen *	269
17.1 Trennung vermengter Wechselwirkungen	269
17.2 Zentrumsunkt	271
17.3 Zuordnung quadratischer Effekte	273
17.4 Nicht realisierbare Faktorstufenkombinationen	275
18 Software *	278
18.1 Allgemeine Hinweise	278
18.2 Beschreibung ausgewählter Programme	279
18.3 Spezielle Anwendungsgebiete	286
19 Beispiele *	288
19.1 Beispiel Motoroptimierung	288
19.2 Literaturbeispiele	293
19.3 Übungsbeispiele	294
19.3.1 Papier-Rotor	294
19.3.2 Nürnberger Trichter	297
Anhang A – Abkürzungen und Formelzeichen	299
Anhang B – Statistische Tabellen	300
Anhang C – Wegweiser durch die Verfahren	302
Anhang D – Ablauf einer Versuchsplanung	304
Anhang E – Ablauf einer Datenauswertung	305
Anhang F – JAVA-Applets auf der DVD	306
Anhang G – Software/Beispiele auf der DVD	310
Anhang H – Software/Demos im Internet	313
Index	317

* Für das Verständnis der folgenden Kapitel nicht erforderlich